

(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
09.05.2001 Bulletin 2001/19

(51) Int Cl.7: H04J 13/00, H04B 1/707

(21) Numéro de dépôt: 00403017.7

(22) Date de dépôt: 30.10.2000

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: 08.11.1999 FR 9914033

(71) Demandeur: Mitsubishi Electric Information
Technology Centre Europe B.V.
1101 AG Amsterdam Zuidoost (NL)

(72) Inventeur: Jechoux, Bruno,
Immeuble Germanium
35700 Rennes (FR)

(74) Mandataire: Maillet, Alain
SCP Le Guen & Maillet,
5, Place Newquay,
B.P. 70250
35802 Dinard Cedex (FR)

(54) Procédé de détection conjointe

(57) La présente invention concerne un procédé de détection conjointe destiné à être mis en oeuvre dans un récepteur d'un système de transmission, tel qu'un système de transmission à accès multiple à répartition de codes. Ladite détection consiste en une étape de calcul des signaux qui ont été émis par lesdits émetteurs dudit système mis sous la forme d'un vecteur x et ce, à partir de l'ensemble des signaux reçus des émetteurs dudit système mis sous la forme d'un vecteur y , de l'ensemble des caractéristiques dudit système mis sous forme d'une matrice A et éventuellement de l'ensemble des caractéristiques de bruit mis sous forme d'une matrice n , ladite étape de calcul consistant en une étape d'inversion d'une matrice M fonction de la matrice système A , une étape d'application de l'ensemble des signaux reçus y sur une matrice résultant du produit de la matrice inverse M^{-1} par le transposé conjugué de la matrice A , ladite étape d'inversion de la matrice M consistant en sa décomposition de Cholesky en une matrice triangulaire U ou L .

Il est caractérisé en ce qu'il consiste à déterminer ladite matrice triangulaire de manière itérative, chaque itération consistant d'abord au calcul d'un ensemble de blocs appartenant à une ligne de blocs de ladite matrice puis, en fonction de la valeur prise par un critère prédéterminé caractérisant l'évolution du processus de calcul de ladite matrice décomposée comparée à une valeur seuil, soit au passage à l'itération suivante soit à la duplication de la ligne courante sur toutes les autres lignes restantes avec décalage à droite d'un bloc et, éventuellement, tronquage des blocs en excédant.

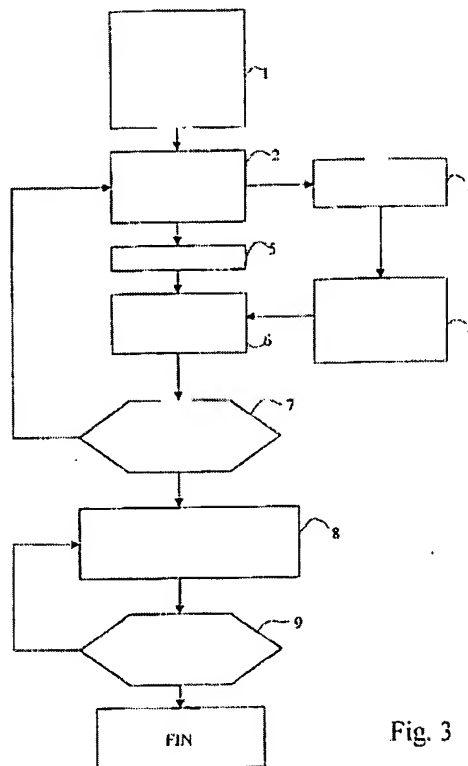


Fig. 3

BEST AVAILABLE COPY

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de détection conjointe destiné à être mis en oeuvre dans un récepteur d'un système de transmission, tel qu'un système de transmission du type à répartition de codes CDMA (Code Division Multiple Access : accès multiple à répartition de codes).

[0002] De nombreux systèmes de télécommunication en cours de développement mettent en oeuvre les techniques CDMA. Ces techniques utilisent le partage en code des ressources fréquentielles, c'est-à-dire que plusieurs utilisateurs utilisent la même bande de fréquence en même temps et sont différenciés par les codes d'étalement différents qu'ils utilisent. Un utilisateur distingue en général le signal qui lui est adressé dans le signal total reçu en comparant celui-ci avec son code d'étalement.

[0003] Cependant la qualité du signal reçu est diminuée par l'interférence résiduelle venant des autres utilisateurs appelée MAI (Multiple Access Interference = Interférence d'accès multiple). Divers techniques dont la détection conjointe, plus particulièrement utilisée dans le cas de codes d'étalement synchrones, visent à utiliser la connaissance des codes d'étalement des autres utilisateurs afin de réduire cette interférence résiduelle des autres utilisateurs.

[0004] On a représenté à la Fig. 1 un modèle de la liaison montante d'un système de transmission du type CDMA qui utilise un procédé de détection conjointe. Ce système est prévu pour recevoir K utilisateurs pourvus chacun d'un émetteur 10_k ($k = 1$ à K). Chaque émetteur 10_k est prévu pour transmettre les données d^k d'un utilisateur k par salves de N symboles de données, ces données étant alors notées $d^k = \{x_k^1, x_k^2, \dots, x_k^N\}$ où x_k^n représente alors le $n^{\text{ième}}$ symbole émis par l'utilisateur k . Dans chaque émetteur 10_k , les données d^k d'un utilisateur k sont soumises à un code d'étalement c^k de longueur Q bits alloué à l'utilisateur k considéré avant d'être émises sur un canal 20_k . Chaque canal 20_k est caractérisé par une réponse impulsionnelle variant dans le temps notée h^k et une largeur de bande fréquentielle notée $B_c = 1/T_c$. Les données sont alors transmises sur un canal 20_k . Pour l'estimation de la réponse impulsionnelle h^k de chaque canal 20_k , sont pris en compte L échantillons espacés les uns des autres d'un temps qui est égal à T_c .

[0005] Klein and all ont pu montrer que le signal y reçu par le récepteur peut être représenté par un vecteur y de dimension $(N \times Q + L - 1)$ dont les composantes sont représentatives des signaux émis par chacun des K utilisateurs, éventuellement additionné à un bruit gaussien représenté par un vecteur n également de dimension $(N \times Q + L - 1)$. On peut donc écrire :

$$y = A.x + n$$

où,

$$x = [x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^K, \dots, x_N^1, x_N^2, \dots, x_N^K]$$

est le signal émis avant étalement,

$$y = [y_1, \dots, y_{N.Q}, \dots, y_{N.Q+L-1}]$$

est le signal reçu par le récepteur,

$$n = [n_1, \dots, n_{N.Q}, \dots, n_{N.Q+L-1}]$$

est le bruit blanc gaussien additif, et

A est une matrice de dimensions $(N.Q + L - 1) \times (K.N)$

[0006] Chaque élément de la matrice A , noté A_{ij} , est déterminé en fonction de l'estimation de la réponse impulsionnelle de chacun des canaux d'ordre k .

$$h^k = [h_1^k, h_2^k, \dots, h_L^k] \text{ avec } k = 1, \dots, K$$

et en fonction de chacun des codes d'étalement d'ordre k :

$$c^k = [c_1^k, c_2^k, \dots, c_Q^k] \text{ avec } k = 1, \dots, K$$

5 [0007] Si l'on pose

$$i = Q.(n-1) + w$$

10 et

$$j = k + K(n-1)$$

15 [0008] Un système de transmission du type CDMA peut être modélisé d'une manière où chaque élément A_{ij} peut s'écrire sous la forme :

$$A_{ij} = b_w^k \text{ pour } k = 1..K, n = 1..N \text{ et } w = 1..Q+L-1$$

$$A_{ij} = 0 \text{ sinon}$$

avec

20

$$b^k = c^k * h^k = [b_1^k, b_2^k, \dots, b_{Q+L-1}^k] \text{ pour } k = 1..K$$

25 [0009] Afin d'estimer les données transmises par chaque utilisateur k , on peut procéder, dans un récepteur 30, à une détection conjointe telle que celle qui est décrite par A.Klein, G.K.Kaleh et P.W.Baier dans un article intitulé "Equalizers for multi-user detection in code division multiple access mobile radio systems" paru dans IEEE de 1994.

[0010] Ces procédés de détection conjointe connus consistent essentiellement à résoudre l'équation matricielle donnée ci-dessus en déterminant le vecteur des symboles x en connaissant le vecteur des signaux détectés y , la matrice système A et la matrice de bruit n .

30 [0011] On notera que la connaissance des matrices y , A et n est faite par ailleurs par des méthodes d'estimation qui sont connues de l'homme du métier et qui ne sont par conséquent pas décrites plus en détail dans la présente description.

[0012] On notera encore que, notamment du fait que la réponse impulsionnelle de chacun des canaux 20_k varie avec le temps, c'est à chaque instant que les éléments de la matrice A change de valeurs.

35 [0013] La détermination du vecteur des symboles x , par la méthode exposée ci-dessus, utilise généralement un des deux critères suivants qui sont, d'une part, le forçage à zéro (zero forcing ou ZF) et, d'autre part, l'erreur quadratique moyenne minimum (MMSE = Minimum Mean Square Error). Ces deux critères mènent respectivement aux solutions suivantes :

40 $\hat{x} = (A^*A)^{-1} A^* y$ pour le critère de forçage à zéro

et

$\hat{x} = (A^*A + (\sigma^2)I)^{-1} A^* y$ pour le critère d'erreur quadratique moyenne minimum MMSE (I est la matrice unité, σ^2 étant la variance des éléments de la matrice de bruit n).

[0014] Dans la suite de la description, l'exposant $+$ appliqué à une matrice signifie qu'il s'agit de son transposé conjugué.

45 [0015] Ces équations peuvent également s'écrire :

$$\hat{x} = M^{-1} A^* y$$

50

[0016] Comme on peut le constater, la résolution de cette équation nécessite donc l'inversion d'une matrice, notée M , qui est soit égale au produit $A^*.A$ de la matrice système transposé conjugué A^* par la matrice système A , soit égale au produit $A^*.A + \sigma^2 I$ de la matrice système transposé conjugué A^* par la matrice système A auquel est ajoutée la matrice unité I multipliée par la variance σ^2 du bruit.

55 [0017] Lorsqu'elle est hermitienne, définie et positive, (ce qui est toujours le cas avec la modélisation d'un système CDMA donnée ci-dessus) une matrice M peut être décomposée, au moyen d'un algorithme, dit algorithme de Cholesky, en une matrice triangulaire supérieure U (ou inférieure L selon la notation choisie) telle que la matrice M est égale au produit de la matrice triangulaire supérieure transposée conjuguée U^* par la matrice U :

$$M = U^* \cdot U$$

ou selon le cas, au produit de la matrice triangulaire inférieure L par la matrice transposée conjuguée L^+ :

$$M = L \cdot L^+$$

[0018] Or, l'inversion de la matrice M est grandement simplifiée puisque la matrice inverse M^{-1} est soit égale au produit de la matrice inverse U^{-1} par le transposé conjugué de cette matrice $(U^{-1})^+$:

$$M^{-1} = U^{-1} (U^{-1})^+$$

soit au produit de la matrice inverse conjuguée $(L^{-1})^+$ par la matrice L^{-1} :

$$M^{-1} = (L^{-1})^+ L^{-1}$$

[0019] Du fait du peu d'opérations nécessaires à l'inversion de U , l'inversion de M en passant par la décomposition de Cholesky nécessite beaucoup moins d'opérations que l'inversion de M par un calcul direct.

[0020] Cette méthode par décomposition de Cholesky autorise une réduction de la complexité de ce calcul par un facteur 2 environ (complexité en $T^3/6$, T étant la dimension de la matrice) par rapport aux techniques d'inversion directe classiques. Cependant la quantité de calcul reste encore très importante.

[0021] Le but de la présente invention est de proposer un procédé de détection conjointe qui utilise la méthode par décomposition de Cholesky mais dont la quantité de calcul est diminuée par rapport aux procédés de l'art antérieur.

[0022] A cet effet, un procédé de détection conjointe selon la présente invention est du type qui consiste en une étape de calcul des signaux qui ont été émis par lesdits émetteurs dudit système mis sous la forme d'un vecteur x et ce, à partir de l'ensemble des signaux reçus des émetteurs dudit système mis sous la forme d'un vecteur y , de l'ensemble des caractéristiques dudit système mis sous forme d'une matrice A et éventuellement de l'ensemble des caractéristiques de bruit mis sous forme d'une matrice n , ladite étape de calcul consistant en une étape d'inversion d'une matrice M fonction de la matrice système A , une étape d'application de l'ensemble des signaux reçus y sur une matrice résultant du produit de la matrice inverse M^{-1} par le transposé conjugué de la matrice A , ladite étape d'inversion de la matrice M consistant en sa décomposition de Cholesky en une matrice triangulaire U ou L .

[0023] Ce procédé est caractérisé en ce qu'il consiste à déterminer ladite matrice triangulaire de manière itérative, chaque itération consistant d'abord au calcul d'un ensemble de blocs appartenant à une ligne de blocs de ladite matrice puis, en fonction de la valeur prise par un critère prédéterminé caractérisant l'évolution du processus de calcul de ladite matrice décomposée comparée à une valeur seuil, soit au passage à l'itération suivante soit à la duplication de la ligne courante sur toutes les autres lignes restantes avec décalage à droite d'un bloc et, éventuellement, tronquage des blocs en excédant.

[0024] Selon une autre caractéristique de l'invention, ladite valeur seuil est déterminée dynamiquement en fonction des ressources disponibles au moment du calcul.

[0025] Selon une autre caractéristique de l'invention, ledit critère est tel que sa valeur dépend des valeurs respectivement prises par au moins un élément de l'ensemble de blocs de la ligne courante et le ou les éléments correspondants de l'ensemble de blocs de la ligne calculée à l'itération précédente.

[0026] Selon une autre caractéristique de l'invention, ledit critère est tel que sa valeur est égale à la valeur absolue de la différence des valeurs prises respectivement par l'élément de l'ensemble de blocs de la ligne courante dont la valeur absolue est la plus grande et par l'élément correspondant de l'ensemble de blocs de la ligne précédente.

[0027] Selon une autre caractéristique de l'invention, ledit critère est tel que sa valeur est égale à la valeur maximale des valeurs absolues des différences entre les valeurs prises respectivement par tous les éléments de l'ensemble de blocs de la ligne courante et par les éléments correspondants de l'ensemble de blocs de la ligne précédente.

[0028] Selon une autre caractéristique de l'invention, ledit critère a pour valeur le nombre d'itérations, la valeur seuil correspondant alors à un nombre maximal d'itérations.

[0029] La présente invention concerne également un récepteur qui est prévu pour mettre en oeuvre un procédé de détection tel qu'il vient d'être décrit.

[0030] Les caractéristiques de l'invention mentionnées ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'exemples de réalisation, ladite description étant faite en relation avec les dessins joints, parmi lesquels :

La Fig. 1 est un schéma synoptique d'un système CDMA qui est prévu pour mettre en oeuvre un procédé de détection conjointe selon la présente invention,

La Fig. 2 est un schéma d'une matrice résultant d'une décomposition de Cholesky mettant en oeuvre le procédé de la présente invention,

La Fig. 3 est un diagramme montrant les différentes étapes mises en oeuvre par un procédé selon une premier mode de réalisation de la présente invention, et

La Fig. 4 est un diagramme montrant les différentes étapes mises en oeuvre par un procédé selon une second mode de réalisation de la présente invention.

[0031] La présente invention est basée sur le fait que la matrice M (on rappelle que $M = A^*A$ dans le cas ZF ou $M = A^*A + \sigma^2 I$ dans le cas MMSE) représentative du comportement d'un système de transmission CDMA est de type Toeplitz par blocs de dimensions $[K \times K]$.

[0032] En effet, si l'on regroupe les éléments de la matrice M en blocs de dimensions $K \times K$, les blocs qui appartiennent à une même ligne parallèle à la diagonale allant du premier bloc ou dernier bloc de la matrice M sont égaux entre eux. Il en est de même des blocs qui appartiennent à ladite diagonale.

[0033] On va considérer, en relation avec la Fig. 2, une matrice U résultant de la décomposition de Cholesky d'une matrice M ($U = C(M)$ soit $C(A^*A)$, soit $C(A^*A + \sigma^2 I)$).

[0034] Comme on peut le constater sur la Fig. 2, la matrice U est une matrice triangulaire supérieure. Ainsi, chaque partie d'une ligne de blocs située à gauche de la diagonale est constituée de blocs égaux à des matrices carrées nulles de dimensions $[K, K]$. Quant à chaque partie d'une ligne de blocs d'indice i située à la droite de la diagonale, diagonale incluse, elle est constituée d'au moins un bloc $U_{i,p}$ de dimensions $[K, K]$ (p étant l'indice des colonnes de blocs) et au plus de $P + 1$ blocs adjacents i de dimension $[K, K]$ formant un ensemble de blocs, noté par la suite E_i . Les blocs qui sont situés au-delà du $(P+1)^{\text{ème}}$, s'ils existent, sont des matrices nulles. On peut donc constater à la Fig. 2 que :

$$E_i = [U_{i,0} U_{i,1} \dots U_{i,p}] \text{ lorsque } i \leq N-P+1$$

$$E_i = [U_{i,0} \dots U_{i,N-i}] \text{ lorsque } i > N-P+1 \text{ et}$$

$$E_N = U$$

[0035] On rappelle que P étant la partie entière de $(1+(L-1)/Q)$.

[0036] On peut noter également que l'élément de la première ligne d'un ensemble de blocs E_i peut également être considéré comme étant le i - $K^{\text{ème}}$ élément de la i - $K^{\text{ème}}$ ligne de la matrice U .

[0037] On notera qu'on utilise ici une notation où l'indice de colonne de blocs p des blocs $U_{i,p}$ est nul pour la diagonale de la matrice U . Il s'ensuit que, dans la suite de la présente description, on dira qu'un élément $a_{n,m}$ ($n^{\text{ème}}$ ligne, $m^{\text{ème}}$ colonne) d'un bloc $U_{i,p}$ d'un ensemble E_i correspond à un élément $a_{n,m}$ (même indices de ligne et de colonne) d'un bloc $U_{i,p}$ d'un ensemble E_i .

[0038] Tous les blocs sont différents les uns des autres. Cependant, J Rissanen a montré dans un article paru dans Mathematics of Computation, vol 27, n° 121 de janvier 1973, pages 147-157 qu'une matrice dont la dimension tend vers l'infini, qui est hermitienne, définie positive et de type Toeplitz en bloc et qui comprend un nombre fini de blocs non nul a pour matrice résultant de la décomposition de Cholesky une matrice U dont les ensembles E de blocs présentent des propriétés particulières.

[0039] En utilisant la notation de la Fig. 2, une de ces propriétés est que plus l'indice de lignes de blocs i est grand moins les blocs $U_{i,p}$ (p compris entre 0 et P) sont différents des blocs $U_{i-1,p}$ et ce, jusqu'à tendre asymptotiquement vers l'égalité quand l'indice N tend vers l'infini.

[0040] La présente invention est essentiellement basée sur cette propriété. La présente invention est également applicable du fait que la matrice à traiter dans le cas d'un réseau de télécommunication tel que celui qui est représenté à la Fig. 1 est très grande (par exemple dans le cas de l'UMTS-TDD où N vaut entre 61 et 976 et K entre 1 et 16).

[0041] La présente invention propose ainsi de calculer la matrice U de manière itérative. A chaque itération, un ensemble de blocs E_i est calculé en appliquant la méthode de Cholesky et est ensuite écrite dans la matrice U à sa place normale.

[0042] Puis, sur la base de la valeur prise par un critère prédéterminé caractérisant l'évolution du processus de calcul de matrice U , il est décidé soit du lancement de l'itération suivante, soit d'une duplication avec décalage à droite d'un bloc de la ligne d'indice i sur les autres lignes d'indice j avec $j = i+1$ à N . Plus précisément, on considère une valeur prise par ce critère et, si elle est inférieure à une valeur seuil, la duplication avec décalage à droite d'un bloc est mise en oeuvre, sinon c'est l'itération suivante qui est mise en oeuvre.

[0043] Comme on le comprendra, lors de la duplication et du décalage à droite d'un bloc, il peut être nécessaire de tronquer l'ensemble à dupliquer lorsque le nombre de blocs à écrire est inférieur au nombre de blocs de la ligne de blocs précédente. On notera que la valeur seuil pourrait varier dynamiquement en fonction des ressources disponibles au moment du traitement.

[0044] Selon un premier mode de réalisation, pour caractériser l'évolution du processus de calcul de la matrice U , la valeur de ce critère dépend des valeurs prises par au moins un élément $a_{n,m}$ de l'ensemble E_i de la ligne de blocs

courante et le ou les éléments $a_{n,m}$ correspondants de l'ensemble E_{i-1} de la ligne de blocs précédente.

[0045] Par exemple, ce critère a pour valeur la valeur absolue de la différence des valeurs prises respectivement par, d'une part, l'élément $a_{n,m}$ de l'ensemble E_j de la ligne de blocs courante choisi pour avoir la plus grande valeur absolue parmi tous ses éléments et par, d'autre part, l'élément $a_{n,m}$ correspondant de l'ensemble E_{i-1} de la ligne de blocs précédente.

[0046] Il peut également prendre pour valeur la valeur maximale des valeurs absolues des différences entre les valeurs prises respectivement par les éléments $a_{n,m}$ de l'ensemble E_j de la ligne courante et par les éléments correspondants de l'ensemble E_{i-1} de la ligne précédente.

[0047] Dans ces deux cas, la valeur seuil correspond alors à un niveau d'erreurs acceptable. Le choix de sa valeur permet d'obtenir une détection conjointe qui est certes dégradée (à un niveau correspondant à cette valeur) mais qui présente une complexité de calcul inférieure.

[0048] On a représenté à la Fig. 3, un diagramme montrant le déroulement du procédé de la présente invention selon ce premier mode de réalisation.

[0049] L'étape 1 est une étape d'initialisation pendant laquelle les différentes variables du processus sont déterminées. Il en est ainsi notamment de la valeur seuil S_{min} et d'une variable i désignant le numéro d'ordre de l'itération considérée qui est initialisé ici à 1.

[0050] C'est à l'étape 2 que sont calculées les valeurs de tous les éléments de l'ensemble de blocs E_j . La ligne correspondante est mémorisée dans la matrice U à l'endroit considéré à une étape 3.

[0051] A l'étape 4, sont sortis les éléments de l'ensemble de blocs E_{j-1} qui vont servir à la détermination de la suite à donner au processus d'itération.

[0052] A l'étape 5, le numéro d'ordre de l'itération i est incrémenté.

[0053] A l'étape 6, la valeur du critère S est calculée conformément à ce qui est décrit ci-dessus.

[0054] A l'étape 7, cette valeur S est comparée à la valeur seuil S_{min} considérée déterminée à l'étape 1 (ou éventuellement recalculée depuis en fonction des conditions de ressources disponibles) et la décision quant à la suite du processus du calcul de la matrice U est prise. Soit l'étape 2, est de nouveau mise en oeuvre pour le calcul de la ligne suivante, soit l'étape 8 de duplication et décalage à droite est mise en oeuvre. Pour ce faire, une boucle est prévue qui est interrompue lorsqu'à l'étape 9, il a été constaté que la dernière ligne de la matrice U a été calculée.

[0055] Le résultat du procédé de la présente invention est visible à la Fig. 2 où, à partir de la *j^{ème}* ligne, les lignes sont égales à cette ligne dupliquée puis décalée à chaque fois à droite d'un bloc, puis éventuellement tronquée lorsque la demi-ligne considérée comporte moins de P blocs.

[0056] Selon un second mode de réalisation, ce critère a pour valeur le nombre d'itérations réalisées. La valeur seuil correspond alors au nombre maximal d'itérations acceptables sans que soit dépassée la capacité de calcul maximale allouée au processus de détection conjointe.

[0057] On a représenté à la Fig. 4, le diagramme correspondant à ce mode de réalisation où les mêmes étapes portent la même référence et où les étapes 4 et 6 ont disparu. L'étape 7' nouvelle effectue une comparaison entre le nombre i courant d'itérations et le nombre i_{max} d'itérations acceptable tel que déterminé à l'étape 1 ou depuis selon les conditions de ressources disponibles.

[0058] On notera que les premier et second modes de réalisation ne s'excluent pas mutuellement ou pourraient être mis en oeuvre conjointement.

[0059] On notera encore que la description qui vient d'être faite l'a été en considérant une décomposition de Cholesky d'où résultait une matrice triangulaire supérieure U et que la présente invention s'applique également à une décomposition de Cholesky conduisant à une matrice triangulaire inférieure L . Le procédé comporterait alors les mêmes étapes que celui qui vient d'être décrit.

Revendications

1. Procédé de détection conjointe destiné à être mis en oeuvre dans un récepteur d'un système de transmission, tel qu'un système de transmission à accès multiple à répartition de codes, ladite détection consistant en une étape de calcul des signaux qui ont été émis par lesdits émetteurs dudit système mis sous la forme d'un vecteur x et ce, à partir de l'ensemble des signaux reçus des émetteurs dudit système mis sous la forme d'un vecteur y , de l'ensemble des caractéristiques dudit système mis sous forme d'une matrice A et éventuellement de l'ensemble des caractéristiques de bruit mis sous forme d'une matrice n , ladite étape de calcul consistant en une étape d'inversion d'une matrice M fonction de la matrice système A , une étape d'application de l'ensemble des signaux reçus y sur une matrice résultant du produit de la matrice inverse M^{-1} par le transposé conjugué de la matrice A , ladite étape d'inversion de la matrice M consistant en sa décomposition de Cholesky en une matrice triangulaire U ou L , caractérisé en ce qu'il consiste à déterminer ladite matrice triangulaire de manière itérative, chaque itération consistant d'abord au calcul d'un ensemble de blocs appartenant à une ligne de blocs de ladite matrice puis, en fonction

de la valeur prise par un critère prédéterminé caractérisant l'évolution du processus de calcul de ladite matrice décomposée comparée à une valeur seuil, soit au passage à l'itération suivante soit à la duplication de la ligne courante sur toutes les autres lignes restantes avec décalage à droite d'un bloc et, éventuellement, tronquage des blocs en excédant.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite valeur seuil est déterminée dynamiquement en fonction des ressources disponibles au moment du calcul.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit critère est tel que sa valeur dépend des valeurs respectivement prises par au moins un élément de l'ensemble de blocs de la ligne courante et le ou les éléments correspondants de l'ensemble de blocs de la ligne calculée à l'itération précédente.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit critère est tel que sa valeur est égale à la valeur absolue de la différence des valeurs prises respectivement par l'élément de l'ensemble de blocs de la ligne courante dont la valeur absolue est la plus grande et par l'élément correspondant de l'ensemble de blocs de la ligne précédente.
5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit critère est tel que sa valeur est égale à la valeur maximale des valeurs absolues des différences entre les valeurs prises respectivement par tous les éléments de l'ensemble de blocs de la ligne courante et par les éléments correspondants de l'ensemble de blocs de la ligne précédente.
6. Procédé selon une revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit critère a pour valeur le nombre d'itérations, la valeur seuil correspondant alors à un nombre maximal d'itérations.
7. Récepteur d'un système de transmission, tel qu'un système de transmission à accès multiple à répartition de codes, prévu pour recevoir et détecter les signaux qui ont été émis par des émetteurs dudit système de transmission afin de les recouvrir, caractérisé en ce que, pour détecter lesdits signaux, il est prévu pour mettre en oeuvre un procédé de détection selon une des revendications 1 à 6.

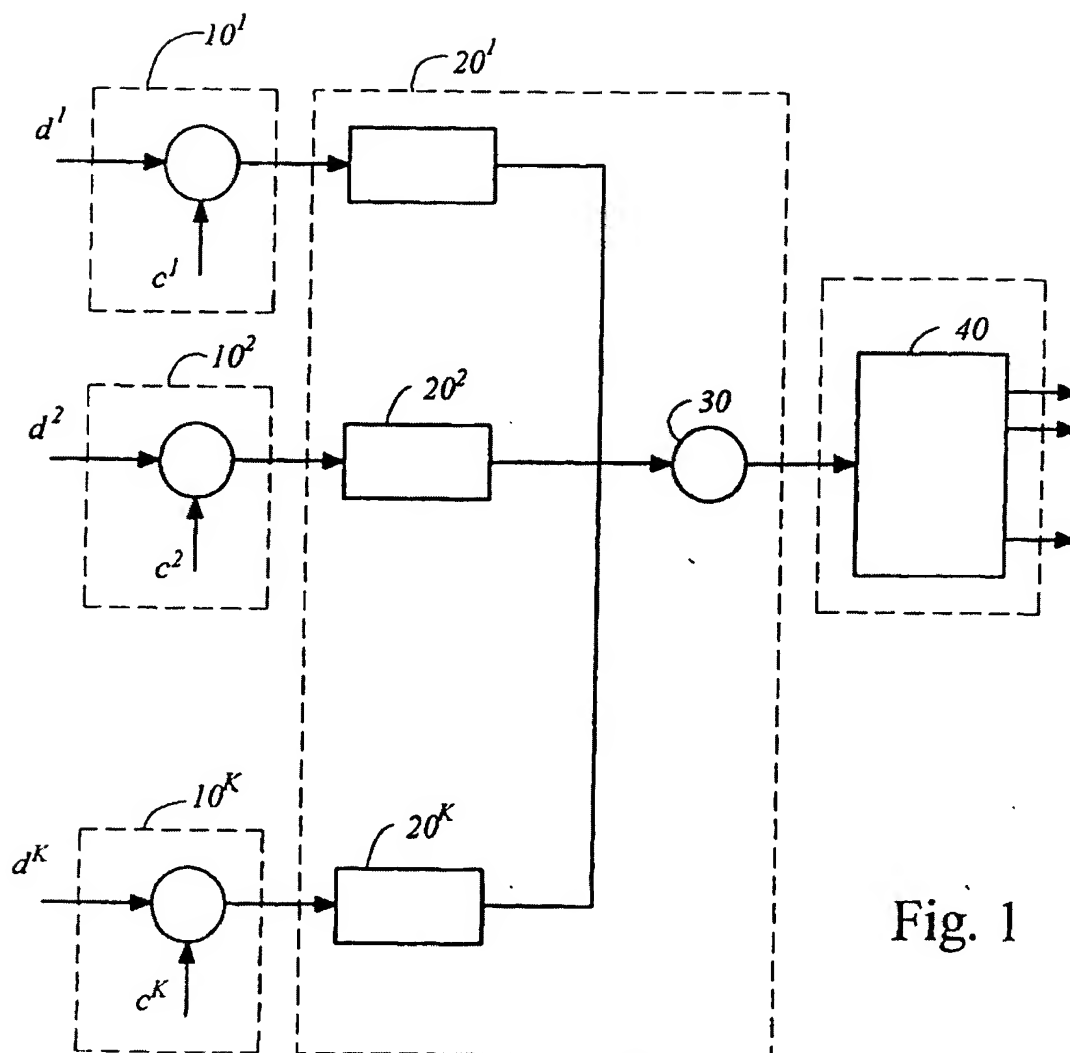


Fig. 1

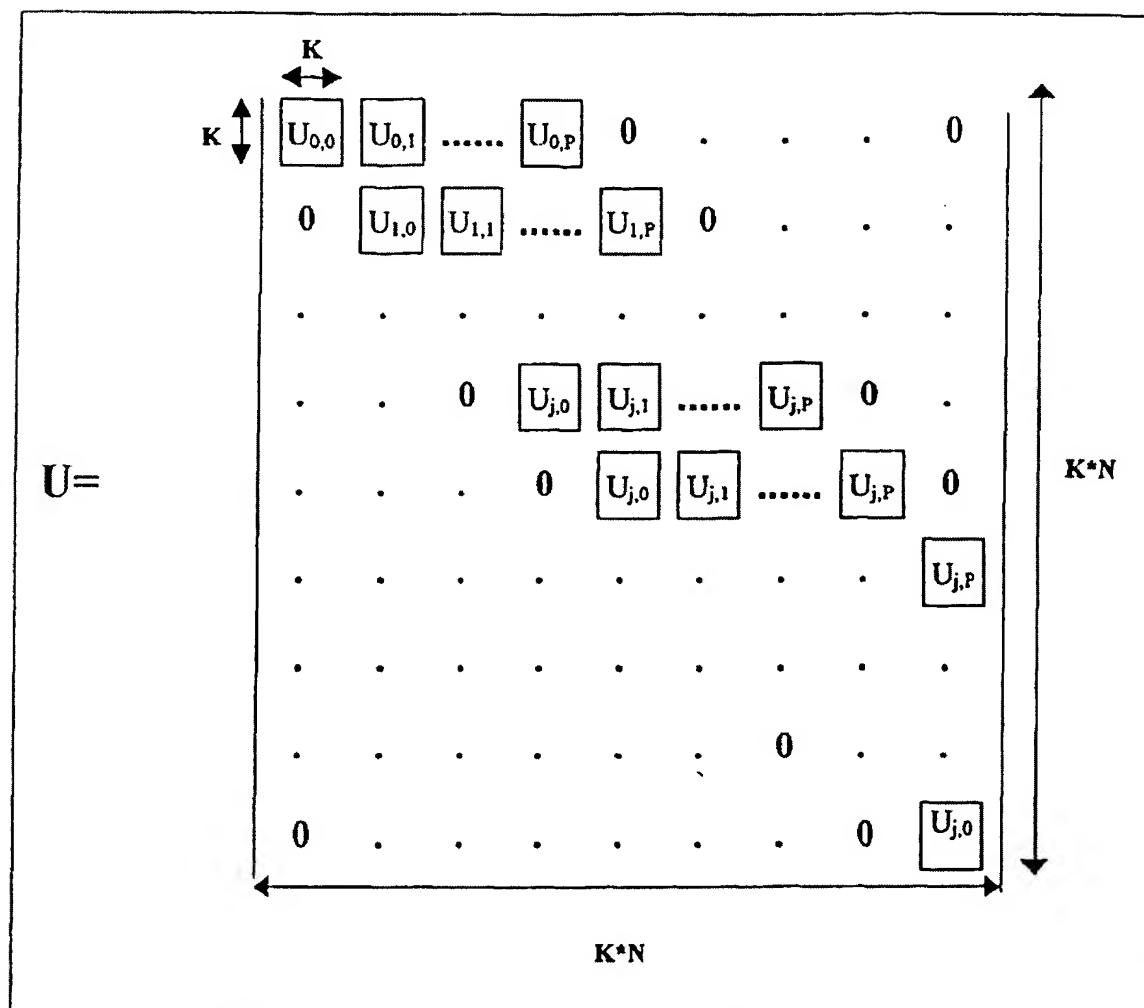


Fig. 2

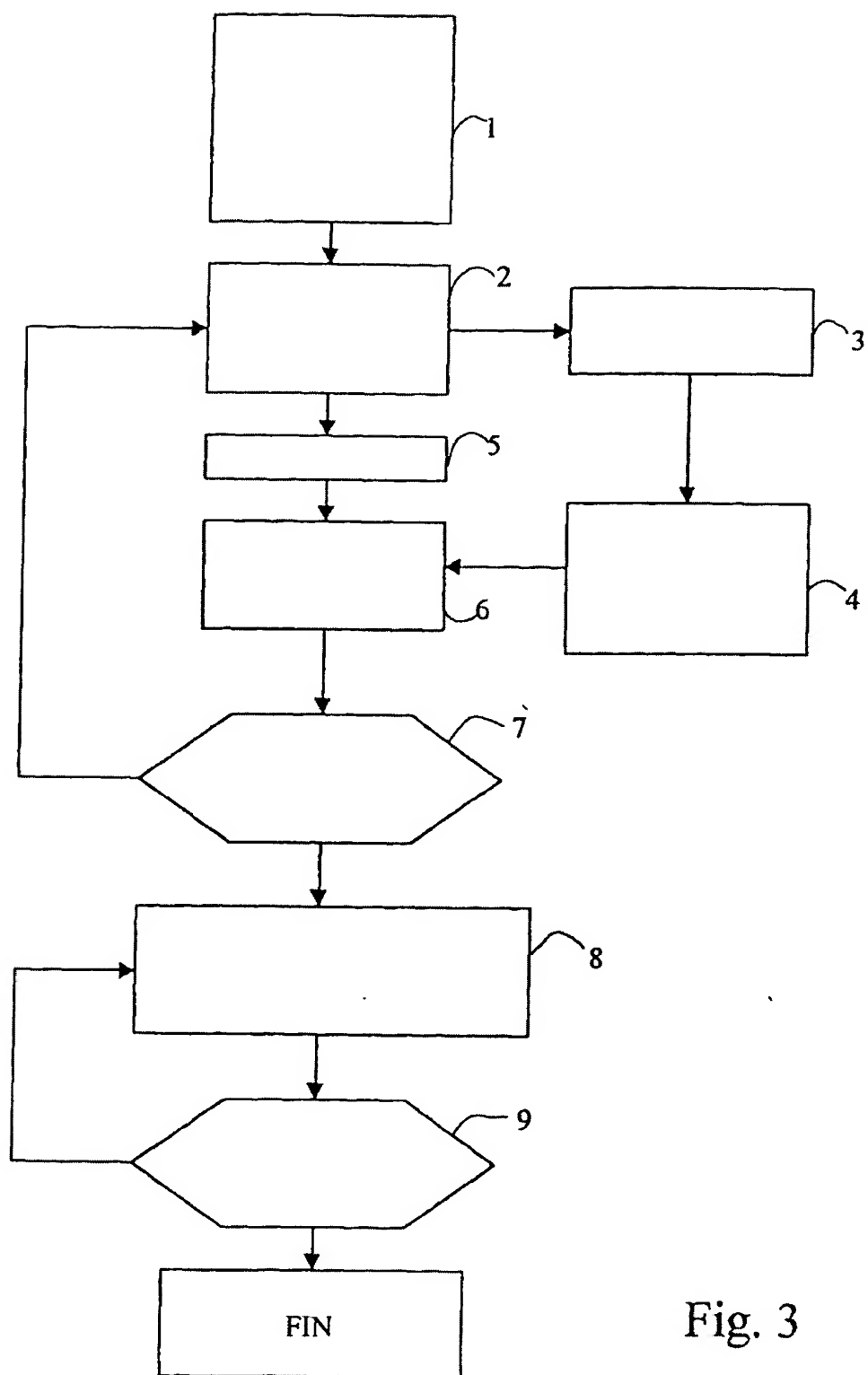


Fig. 3

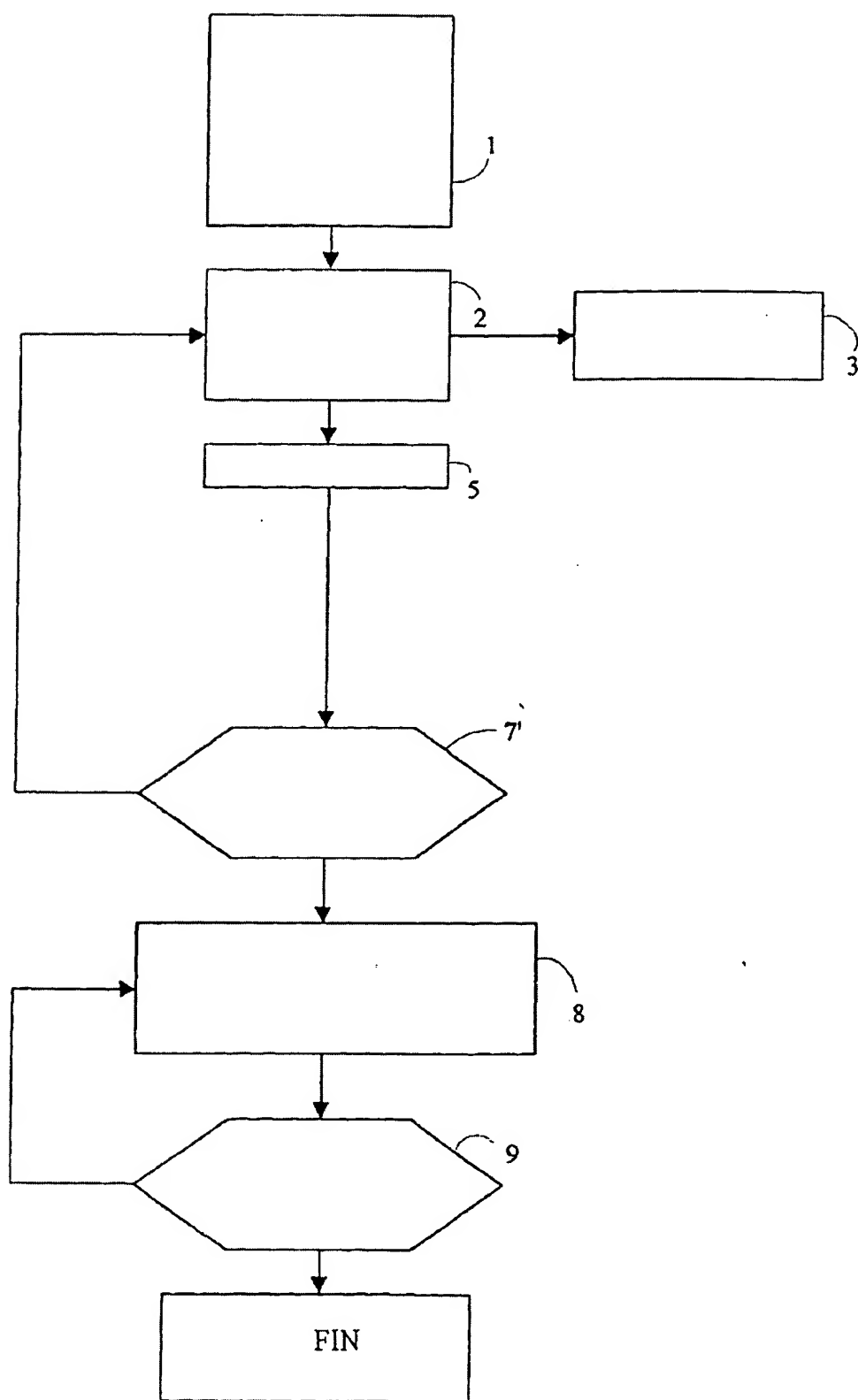


Fig. 4



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 00 40 3017

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
X	KARIMI H R ET AL: "A novel and efficient solution to block-based joint-detection using approximate Cholesky factorization" IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PERSONAL, INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS, XX, XX, vol. 3, 1998, pages 1340-1345-1345vol13, XP002112134	1,6,7	H04B1/707
A	* page 1340, colonne de gauche, ligne 17 - ligne 40 * * page 1341, colonne de gauche, ligne 1 - colonne de droite, ligne 19 * * page 1342, colonne de droite, ligne 18 - page 1343, colonne de gauche, ligne 36 *	2-5	
X	KARIMI H R: "Efficient multi-rate multi-user detection for the asynchronous WCDMA uplink" GATEWAY TO 21ST CENTURY COMMUNICATIONS VILLAGE. VTC 1999-FALL. IEEE VTS 50TH VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE (CAT. NO.99CH36324), GATEWAY TO 21ST CENTURY COMMUNICATIONS VILLAGE. VTC 1999-FALL. IEEE VTS 50TH VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, AMSTERDAM,, pages 593-597 vol.1, XP002142538 1999, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-5435-4	1,6,7	
A	* page 594, colonne de droite, ligne 21 - page 595, colonne de gauche, ligne 31 *	2-5	
P,X	EP 0 971 485 A (SIEMENS AG) 12 janvier 2000 (2000-01-12) * page 2, ligne 48 - page 3, ligne 35 * * page 4, ligne 26 - page 9, ligne 28; revendications 1-18; figures 3-5 *	1,6,7	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 7 février 2001	Examineur Nilsson, M
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>I : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons S : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 00 40 3017

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européen visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

07-02-2001

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0971485 A	12-01-2000	US 6064689 A	16-05-2000

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No. 12/82

The present invention relates to a joint detection method intended to be applied in a receiver of a transmission system, such as a transmission system of the code division type CDMA
 5 (Code Division Multiple Access).

A large number of telecommunications systems being developed apply CDMA techniques. These techniques use code sharing of frequency resources, i.e., several users use the same frequency band at the same time, and are differentiated
 10 by different spreading codes which they use. A user generally distinguishes the signal which is addressed to him, in the total received signal, by comparing the latter with his/her spreading code.

However, the quality of the received signal is reduced by
 15 residual interference from other users called MAI (Multiple Access Interference). Various techniques including joint detection, more particularly used in the case of synchronous spreading codes, are directed to using the knowledge of spreading codes of the other users in order to reduce this
 20 residual interference from the other users.

A model of the upstream link of a CDMA type transmission system which uses a joint detection method, is illustrated in Fig. 1. This system is provided for receiving K users which provided with a transmitter 10_k ($k = 1$ to K). Each transmitter
 25 10_k is provided for transmitting data d^k of a user k by bursts of N data symbols, these data being then noted as $d^k = \{x_k^1, x_k^N\}$ wherein x_k^n then represents the n th symbol transmitted by the user k . In each transmitter 10_k , the data d^k of a user k are submitted to a spreading code c^k with a length of Q bits
 30 allocated to the relevant user k before being transmitted over a channel 20_k . Each channel 20_k is characterized by an impulse response varying over time noted as h^k and a frequency band width noted as $B_c = 1/T_c$. The data are then transmitted over a channel 20_k . For estimating the impulse response h^k of each

channel 20_k , L samples spaced out from each other by a time interval equal to T_c are taken into account.

Klein et al., have been able to show that the signal y received by the receiver may be represented by a vector y of dimension $(N \times Q + L - 1)$, the components of which are representative of the transmitted signals by each of the K users, possibly added to Gaussian noise represented by a vector n also of dimension $(N \times Q + L - 1)$. So we may write:

$$y = A.x + n$$

wherein

$$x = [x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^K, \dots, x_N^1, x_N^2, \dots, x_N^K]$$

is the signal transmitted before spreading,

$$y = [y_1, \dots, y_{N.Q}, \dots, y_{N.Q+L-1}]$$

is the signal received by the receiver,

$$n = [n_1, \dots, n_{N.Q}, \dots, n_{N.Q+L-1}]$$

is the additive Gaussian white noise, and

A is a matrix of dimensions $(N.Q + L - 1) \times (K.N)$

Each element of matrix A , noted as A_{ij} , is determined according to the estimation of the impulse response of each of the channels of order k :

$$h^k = [h_1^k, h_2^k, \dots, h_L^k] \text{ avec } k = 1, \dots, K$$

and according to each of the spreading codes of order k :

$$c^k = [c_1^k, c_2^k, \dots, c_Q^k] \text{ avec } k = 1, \dots, K$$

If one sets

5

$$i = Q.(n-1) + w$$

and

10

$$j = k + K(n-1)$$

A CDMA type transmission system may be modeled in such a way that each element A_{ij} may be written as:

$$\begin{aligned} A_{ij} &= b_w^k \text{ for } k=1..K, n=1..N \text{ and } w=1..Q+L-1 \\ A_{ij} &= 0 \text{ else} \\ \text{with} \end{aligned}$$

$$b^k = c^k * h^k = [b_1^k, b_2^k, \dots, b_{Q+L-1}^k] \text{ for } k=1..K$$

15

In order to estimate the data transmitted by each user k , one may proceed in receiver 30, with a joint detection such as the one described by A. Klein, G.K. Kaleh and P.W. Baier in an article entitled "Equalizers for multi-user detection in code
20 division multiple access mobile radio systems" published in IEEE of 1994.

These known joint detection methods essentially consist of solving the matrix equation given above by determining the vector of symbols x by knowing the vector of the detected
25 signal y , the system matrix A and the noise matrix n .

It will be noted that matrices y , A and n , are moreover determined by estimation methods which are known to one

skilled in the art and they are therefore not described in more detail in the present specification.

It will still be noted that, notably from the fact that the impulse response of each of the channels 20_k varies over time, it is at each instant that the elements of matrix A change values.

Determination of the vector of symbols x_i by the method expounded above generally uses one of the two following criteria which are zero forcing or ZF on the one hand, and on the other hand the minimum mean square error (MMSE). Both of these criteria respectively lead to the following solutions:

$$\hat{x} = (A^+A)^{-1} A^+ y \quad \text{for the zero forcing criterion}$$

and

$\hat{x} = (A^+A + (\sigma^2 I)^{-1} A^+ y$ for the minimum mean square error MMSE criterion (I is the identity matrix, σ^2 being the variance of the elements of the noise matrix n).

In the following description, the exponent $+$ applied to a matrix means that it is its conjugate transpose.

These equations may also be written as:

20

$$\hat{x} = M^{-1} A^+ y$$

As it may be seen, solving this equation therefore requires inverting a matrix noted as M , which is either equal to the product A^+A of the conjugate transpose system matrix A^+ by the system matrix A , or equal to the product $A^+A + \sigma^2 I$ of the conjugate transpose system matrix A^+ by the system matrix A to which is added the identity matrix I multiplied by the variance σ^2 of the noise.

When it is hermitian, defined and positive, (as this is always the case with the modeling of a CDMA system given above), a matrix M may be decomposed, by means of an

algorithm, the so-called Cholesky algorithm, into an upper triangular matrix U (or lower triangular matrix L according to the chosen notation) such that matrix M is equal to the product of the conjugate transpose upper triangular matrix U^* by matrix U :

$$M = U^* \cdot U$$

or depending on the case, to the product of the lower triangular matrix L by the conjugate transpose matrix L^* :

$$M = L \cdot L^*$$

now, inversion of matrix M is largely simplified as the inverse matrix M^{-1} is either equal to the product of the inverse matrix U^{-1} by the conjugate transpose of this matrix $(U^{-1})^*$:

$$M^{-1} = U^{-1} (U^{-1})^*$$

either to the product of the conjugate inverse matrix $(L^{-1})^*$ by matrix L^{-1} :

$$M^{-1} = (L^{-1})^* L^{-1}$$

Because of the few operations required for inverting U , inversion of M by passing through the Cholesky decomposition requires much less operations than inversion of M by direct calculation.

This method with Cholesky decomposition allows the complexity of this calculation to be reduced by a factor of about 2 (complexity of $T^3/6$, T being the dimension of the matrix) as compared with conventional direct inversion

techniques. However, the amount of calculations still remains very significant.

The object of the present invention is to provide a link detection method which uses the method with the Cholesky decomposition but for which the amount of calculations is reduced as compared with methods from the prior art.

For this purpose, a link detection method according to the present invention is of the type which consists of a step for calculating the signals which have been transmitted by said transmitters of said system formed as a vector x and this from the set of signals received from the transmitters of said system, formed as a vector y , from the set of characteristics of said system, formed as a matrix A and possibly from the set of noise characteristics formed as a matrix n , said calculation step consisting of a step for inverting a matrix M depending on the system matrix A , a step for applying the set of received signals y on a matrix resulting from the product of the inverse matrix M^{-1} by the conjugate transpose of matrix A , said step for inverting matrix M consisting in its Cholesky decomposition into a triangular matrix U or L .

This method is characterized in that it consists of determining said triangular matrix iteratively, each iteration first consisting of calculating a set of blocks belonging to a line of blocks of said matrix and then, depending on the value assumed by a predetermined criterion characterizing the development of the process for calculating said decomposed matrix as compared with a threshold value, either by passing to the next iteration or by duplicating the current line on all the other remaining lines with right-shifting of a block and possibly truncation of excess blocks.

According to another feature of the invention, said threshold value is dynamically determined depending on the available resources at the moment of the calculation.

According to another feature of the invention, said criterion is such that its value depends on values

respectively assumed by at least one element of the set of blocks of the current line, and the corresponding element(s) from the set of blocks of the line calculated in the previous iteration.

5 According to another feature of the invention, said criterion is such that its value is equal to the absolute value of the difference of values assumed by the element of the set of blocks of the current line, for which the absolute value is the largest, and by the corresponding element of the
10 set of blocks from the previous line, respectively.

 According to another feature of the invention, said criterion is such that its value is equal to the maximum value of the absolute values of the differences between the values assumed by all the elements of the set of blocks of the
15 current line and by the corresponding elements of the set of blocks from the previous line, respectively.

 According to another feature of the invention, said criterion has the value of the number of iterations, the threshold value then corresponding to a maximum number of
20 iterations.

 The present invention also relates to a receiver which is provided for applying a detection method such as the one which has just been described.

 The aforementioned features of the invention, as well as
25 other features, will become more apparent upon reading the following description of exemplary embodiments, said description being made in connection with the appended drawings, wherein:

 Fig. 1 is a block diagram of a CDMA system which is
30 provided for applying a joint detection method according to the present invention,

 Fig. 2 is a diagram of a matrix resulting from a Cholesky decomposition applying the method of the present invention.

Fig. 3 is a flow chart showing the different steps applied by a method according to a first embodiment of the present invention, and

Fig. 4 is a flow chart showing the different steps applied by a method according to a second embodiment of the present invention.

The present invention is based on the fact that the matrix M (let us recall that $M = A^*A$ in the ZF case, or $M = A^*A + \sigma^2 I$ in the MMSE case) representative of the behavior of a CDMA transmission system is of the Toeplitz type per blocks of dimensions $[K \times K]$.

Indeed, if the elements of matrix M are grouped into blocks of dimensions $K \times K$, the blocks which belong to a same line parallel to the diagonal ranging from the first block to the last block of the matrix are equal to each other. The same applies to blocks which belong to said diagonal.

In conjunction with Fig. 2, a matrix U resulting from the Cholesky decomposition of a matrix M ($U = C(M)$ = either $C(A^*A)$, or $C(A^*A + \sigma^2 I)$) will be considered.

As it may be seen in Fig. 2, matrix U is an upper triangular matrix. Thus, each portion of a line of blocks located on the left of the diagonal consists of blocks equal to zero square matrices with dimensions $[K, K]$. As for each portion of a line of blocks with index i located on the right of the diagonal, including the diagonal, it consists of at least one block $U_{i,p}$ of dimensions $[K, K]$ (p being the index of the block columns) and at the most of $P+1$ adjacent blocks i of dimensions $[K, K]$ forming a set of blocks, noted as E_i subsequently. The blocks which are located beyond the $(P+1)^{\text{th}}$ one, if they exist, are zero matrices. So, it may be seen in Fig. 2 that:

$$\begin{aligned}
E_i &= [U_{i,0} U_{i,1} \dots U_{i,p}] \text{ when } i \leq N-P+1 \\
E_i &= [U_{i,0} \dots U_{i,N-i}] \text{ when } i > N-P+1 \text{ and} \\
E_N &= U
\end{aligned}$$

Let us recall that P is the integer portion of $(1+(L-1)/Q)$.

It may also be noted that the element of the first line
 5 of a set of blocks E_i may also be considered as the $i.K^{th}$ element of the $i.K^{th}$ line of matrix U .

It will be noted that a notation is used here where the column index of the p blocks from the $U_{i,p}$ blocks is zero for the diagonal of matrix U . It follows that, in the following of
 10 the present description, it will be stated that an element $a_{n,m}$ (n^{th} line, m^{th} column) of a block $U_{i,p}$ of a set E_i corresponds to an element $a_{n,m}$ (same line and column indexes) of a block $U_{i-1,p}$ of a set E_{i-1} .

All the blocks are different from each other. However, J.
 15 Rissanen shows in an article published in Mathematics of Computation, Vol. 27, No. 121, January 1973, p 147-157, that a matrix with a dimension tending to infinity, which is hermitian, defined positive and of the Toeplitz block type and which comprises a finite number of non-zero blocks has as
 20 resulting matrix from the Cholesky decomposition, a matrix U for which the sets E of blocks have particular properties.

By using the notation of Fig. 2, one of these properties is that the larger the index of the lines of blocks i , the lesser the blocks $U_{i,p}$ (p between 0 and P) are different from
 25 blocks $U_{i-1,p'}$ and this until they asymptotically tend to equality when index N tends to infinity.

The present invention is essentially based on this property. The present invention is also applicable because the matrix to be processed in the case of a telecommunications
 30 network such as the one illustrated in Fig. 1 is very large (for example, in the case of UMTS-TDD where N is between 61 et 96 and K between 1 and 16).

The present invention thus suggests that the matrix U be calculated iteratively. At each iteration, a set of blocks E_i is calculated by applying the Cholesky method and it is then written into the matrix U at its normal place.

5 Next, on the basis of the value assumed by a predetermined criterion characterizing the development of the process for calculating matrix U , a decision is made whether to initiate the following iteration or to duplicate a block with right-shifting from the line of index i onto the other
10 lines of index j with $j = i+1$ to N . More specifically, a value assumed by this criterion is considered and if it is less than a threshold value, duplication of a block with right-shifting is applied otherwise it is the following iteration which is applied.

15 As it will be understood, upon duplicating and right-shifting a block, it may be necessary to truncate the set to be duplicated as the number of blocks to be written is less than the number of blocks of the previous line of blocs. It will be noted that the threshold value may dynamically vary
20 according to the available resources at the moment of the processing.

 According to a first embodiment, to characterize the development of the process for calculating matrix U , the value of this criterion depends on values assumed by at least one
25 element $a_{n,m}$ of the set E_i of the current line of blocks and the corresponding element(s) $a_{n,m}$ of the set E_{i-1} of the previous line of blocks.

 For example, this criterion has the value of the absolute value of the difference of values assumed by element $a_{n,m}$ of
30 the set E_i of the current line of blocks selected in order to have the largest absolute value among all its elements on the one hand, and on the other hand by the corresponding element $a_{n,m}$ of the set E_{i-1} of the previous line of blocks, respectively.

It may also have the value of the maximum value of the absolute values of the differences between the values assumed by the element $a_{n,m}$ of the set E_i of the current line and by the corresponding elements of the set E_{i-1} of the previous line, respectively.

In both of these cases, the threshold value then corresponds to an acceptable error level. By selecting its value, it is possible to obtain a joint detection which is certainly degraded (at a level corresponding to this value) but which has a lesser complexity of calculation.

A flow chart showing the development of the method of the present invention according to this first embodiment is illustrated in Fig. 3.

Step 1 is an initialization step during which the different variables of the process are determined. This is notably the case of the threshold values S_{min} and of the values of a variable i designating the order number of the relevant iteration which is initialized to 1 here.

It is in step 2 that the values of all the elements of the set of blocks E_i are calculated. The corresponding line is stored in matrix U at the location considered in a step 3.

In step 4, the elements of the set of blocks E_{i-1} are outputted, which will be used for determining the follow-up as to the iteration process.

In step 5, the order number of iteration i is incremented.

In step 6, the value of criterion S is calculated according to what is described above.

In step 7, this value S is compared with the relevant threshold value S_{min} as determined in step 1 (or possibly as re-calculated since then, depending on the conditions of available resources) and the decision is made as to the follow-up of the process for calculating the U matrix. Either step 2 is again applied for calculating the next line, or step 8 for duplication and right-shifting is applied. To do this, a

loop is provided which is interrupted when in step 9, it has been seen that the last line of matrix U has been calculated.

The result of the method of the present invention is visible in Fig. 2 where, from the j^{th} line, the lines are equal
 5 to this line which is duplicated then right-shifted every time by one block, and then possibly truncated when the relevant half-line includes less than P blocks.

According to a second embodiment, this criterion has the value of the number of achieved iterations. The threshold
 10 value then corresponds to the maximum number of acceptable iterations without exceeding the maximum calculation capacity allocated to the joint detection process.

The flow chart corresponding to this embodiment where the same steps bear the same reference and where steps 4 and 6
 15 have disappeared, is illustrated in Fig. 4. The new step 7' carries out a comparison between the current number i of iterations and the acceptable number i_{max} of iterations, as determined in step 1 or since then, according to the conditions of available resources.

20 It will be noted that the first and second embodiments are not mutually exclusive or may be applied together.

It will further be noted that the description which has been made, was made by considering a Cholesky decomposition from which an upper triangular matrix U resulted and that the
 25 present invention also applies to a Cholesky decomposition leading to a lower triangular matrix L . The method would then include the same steps as the one which has been described.

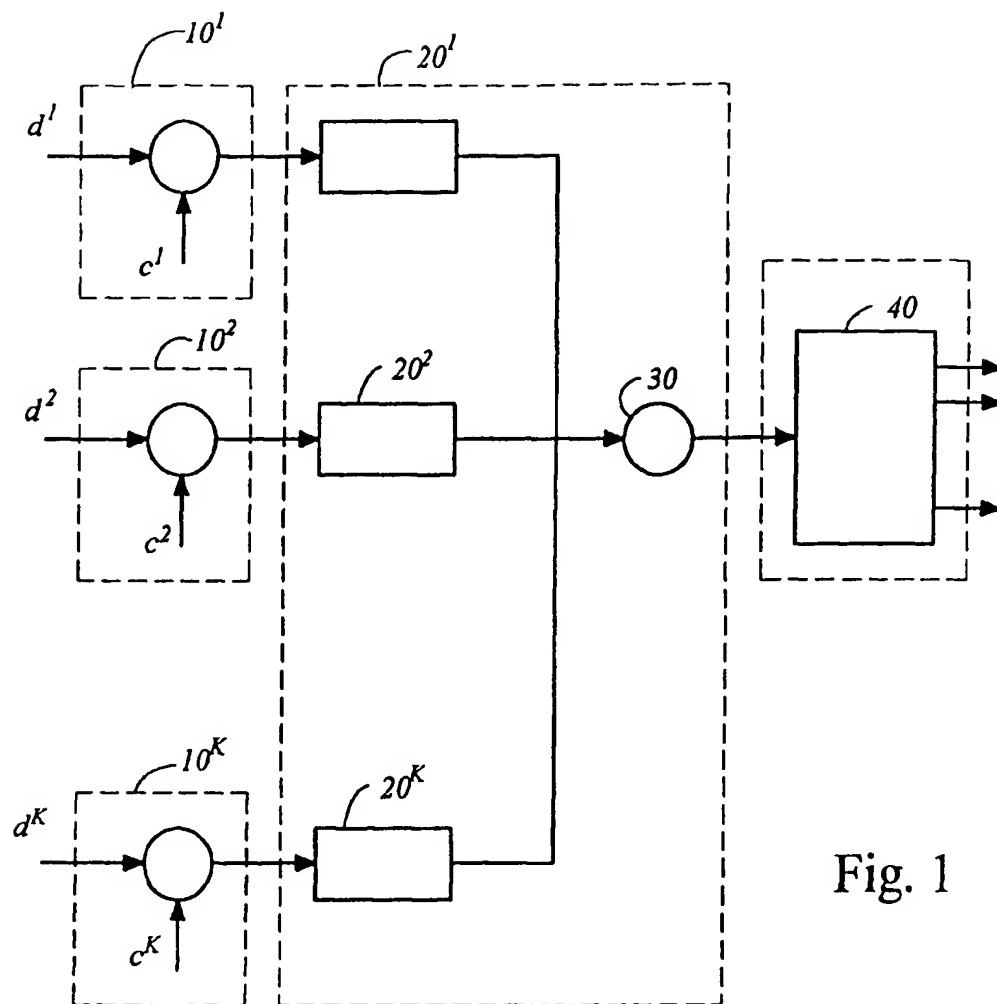


Fig. 1

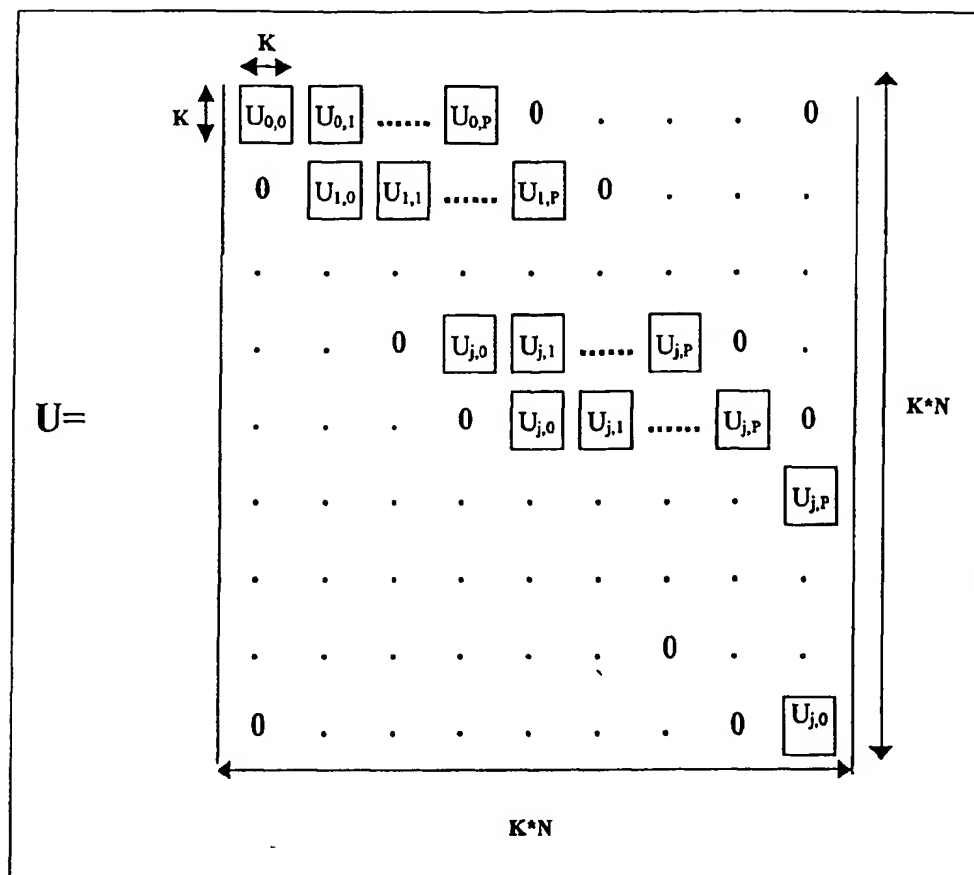


Fig. 2

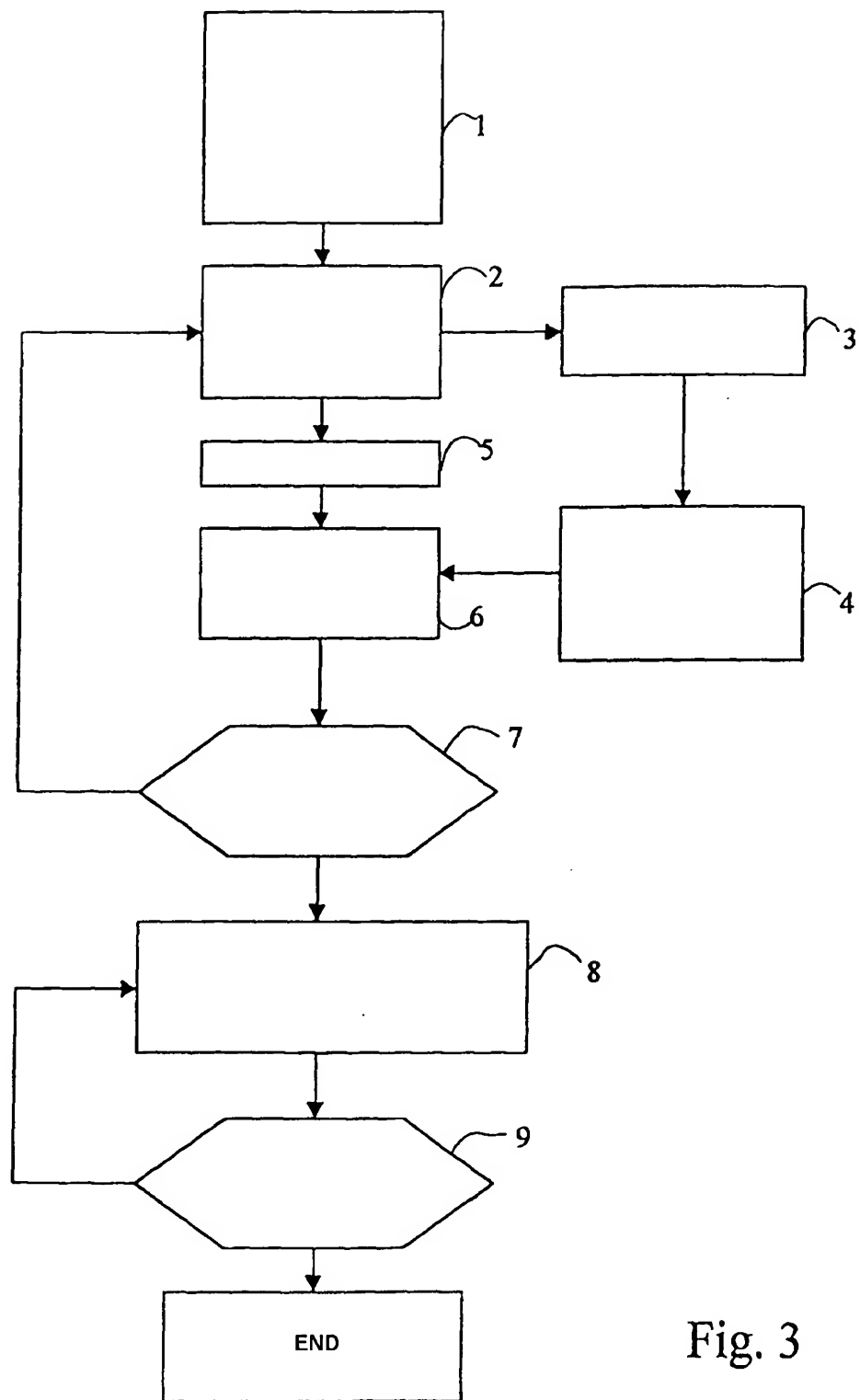


Fig. 3

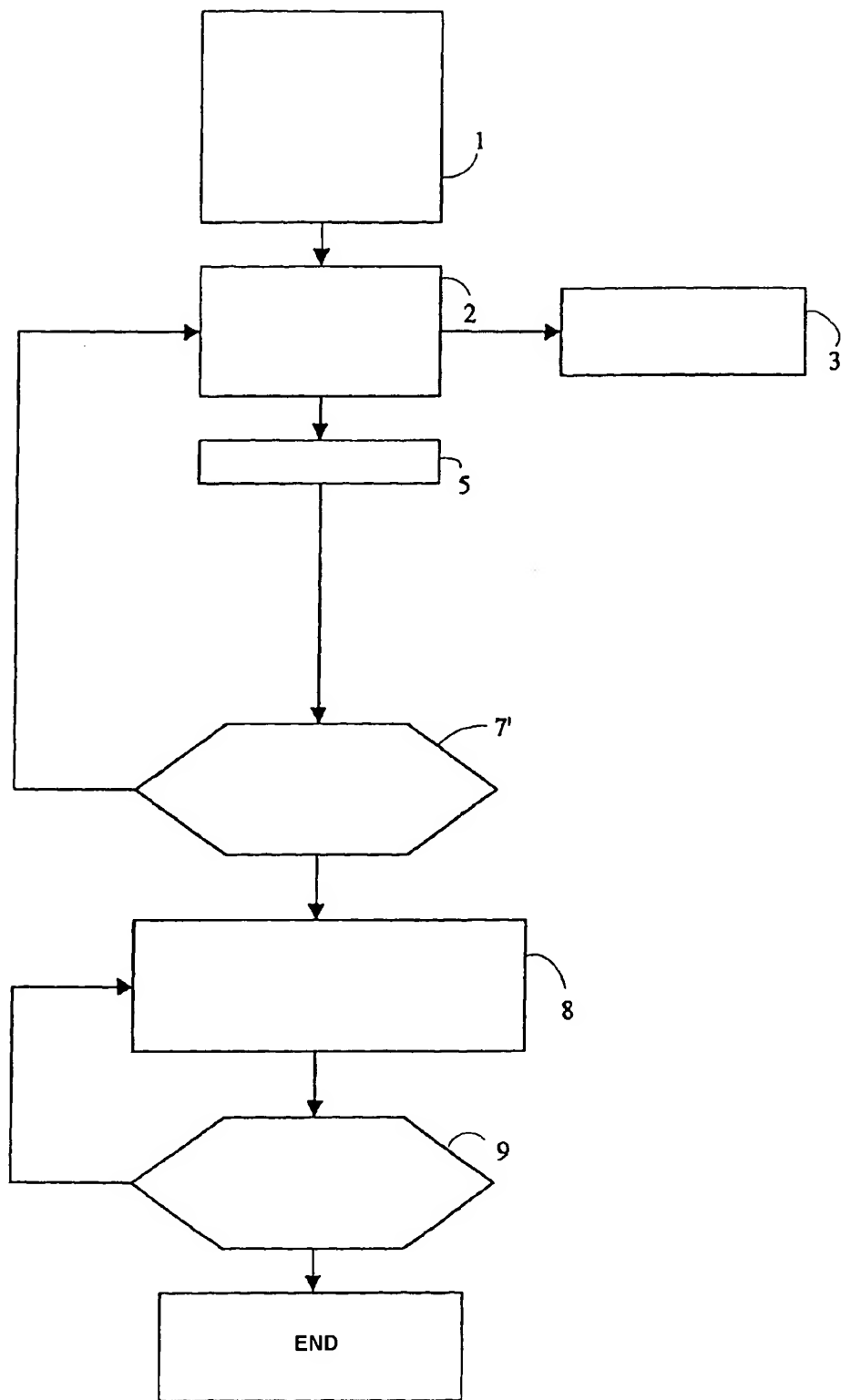


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.